(11)特許出願公開番号 **\$\$ JM 2002 — 277393** (P2002-277393A)

(43)公開日 平成14年9月25日(2002.8.25)

60 Int.CL

数别经号

GOIN 21/35

21/41

GOIN 21/35

Z 2G959

21/41

帯変雑求 未締成 雑求項の数10 OL (金-2) E)

(21) 出業署等

特欄2001-74551(P2001-74551)

(22) 8888 88

平成13年3月15日(2001.3.16)

(71) 出版人 592171153

様式会社搬水にコン

御木果大田原市実取770番地

(71) HS 1 000004112

様式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 字佐見 🐞

摄木果大田原市実取770番地 维法会社组

水二コン物

(74) 代理人 100096770

ドターム(参考) 20150 AND2 5301 6802 FP01 FP08

P700 0001 0001]]]14]]24

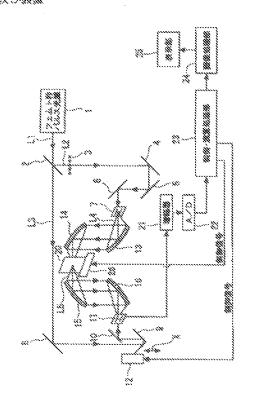
K801 16001

(54) (発明の名称) 一類定方法及び結構、並びに、イメージ化力法及び装備

(87) [3889]

【課題】 計算量を低減しかつ安定して精度良く複業組 哲率を鑑定する。

【解決手段】 発生部でで発生したテラヘルツバルス光 を被測定物20に透過させる。その透過光を検出器11 で検出し、所定周波数の振幅選過率及び位相差を得る。 これらと被測定物20の複業器折率との関係を示す式に 基づいて、逐次近似により被測定物20の複葉賠折率を 求める。この式は、テラヘルツバルス光の前記被測定物 の内部での多葉反射を反映したものである。前記逐次近 質において、複楽展哲学の近似解を与えて複楽報告率の 新たな近似解を得るに難し、光が被勘定物20の機関の 媒翼から被勘定物20へ入射するときの透温率、光が物 郷室物20から保養へ出射するときの透過率、及び、多 **瀬度射に基づく項を、与えた近傷解にて定まる既知数と** して取り扱うことにより、新たな近似解を得る。



[無算数末の範囲]

【請求項1】 按測定物の複類矩折率又は複業誘電率を 務定する勘定方法であって、

テラヘルンパルス光の発生部と結発生部から発生して済 変の光路を経て靭藻するデラヘルワバルス光を検出する 後出部とを用いて、前記光路上に前記被測定物を配置し た状態で、前紀テラヘルツバルス光を前紀被器室物に限 射することにより前距被胸定物を透過して前距検出部に より検出されるパルス光の。鐵揚強度の時景列政形であ る計劃時系列被形を取得する段階と、

前距光路上に前距被測定物に代えて所定の試料を配置し た状態であるいは前距光路上に前記被勘定物も前記試料 も配置しない状態で、前配発生部から発生されて前配核 出部にて検出されるパルス光の、鶯揚強度の特系列波形 である基準時差列級形と、前配計衡時差列級形との關係 に基づいて、前記被割字物の複楽用折率又は複楽誘置率 を凝算する薄葉段階と、

参徽文。

前記演算段階は、(a) 前記計測時系列該形をフーリエ 要換して得た所定機欲数の振幅と前記基準時系列放形を 26 フーリエ変換して得た前配所定期複数の機構との比であ る前記所定開放数の振幅率を求める政務と、(6) 前記 計劃時系列被形をフーリエ変換して得た前記所定異波数 の位相と前距基準時系列被形をフーリエ変換して得た前 紀研定開放数の位相との位相差を求める段階と、 (で) 前記所定期複数の前記振幅率及び前記所定周波数の前記 位相差と前距被測定物の前配所定周波数の復業服折率又 は複塞誘魔率との関係を示す式に基づいて、遊次近似に より出鉄複素原折率又は複素誘鐵準を求める段階と、を 新し、

葡萄式は、葡萄ナラベルツバルス光の葡萄被瀕害物の内 部での多重反射を無視したものであり、

前記逐次近似において、複素期折率又は複素誘電率の近 假解を与えて複楽阻折率又は複楽誘魔率の新たな近假解 を得るに難し、光が前記被測定物の周囲の媒質から前記 被測定物へ入射するときの透過率及び光が前記被測定物 から前距機関へ射出するときの透過率を、与えた近似解 にて定まる既知数として取り扱うことにより、新たな近 **毎解を得る。ことを特徴とする測定方法。**

【劉本項2】 被測定物の強業思折率又は複業誘電率を 40 勘定する歯定方法であって、

テラペルツバルス光の発生部と該発生部から発生して所 定の光路を経て弱廉するテラヘルツバルス光を検出する 検出部とを用いて、前記光路上に前記被測定物を配置し た状態で、前配グラヘルツバルス光を前配被測定物に展 対することにより前記被制定物を透過して前記検出部に より検出されるパルス光の、難場強度の特差列政形であ る計画時界列級形を取得する段階と、

前記光路上に前距被測定物に代えて所定の試料を配置し

も配置しない状態で、前配発生部から発生されて前配検 出部にて検出されるパルス光の、微陽強度の時系列波形 である基準時差列板形と、前記計劃時系列放形との関係 に基づいて、前記被御定物の機牽超折率又は複業誘電率 を演算する演算段等と、

金爾文。

新紀演纂段階は、(a) 新記計器時系列放形をフーリエ 変換して得た所定開放数の振幅と前記基準時系列放形を フーリエ変換して得た前配所定開放数の振幅との比であ る蒴配所定用液数の振幅率を求める段階と、(も) 前配 計画時条列被形をフーリエ変換して得た前記所定周皮数 の位相と前続基準時系列被形をフーリエ変換して得た前 部所定興被数の位相との位相差を求める段階と、(e) 前紀別定開波数の前記板欄準及び前紀所定開放数の前記 位相差と前記被御定物の前記所定周波数の複楽器哲学又 は篠寨鉄鷺率との関係を示す式に基づいて、逐次近似に より当該後素賠折率又は複素誘電率を求める段階と、を 器 し.

前記式は、前記テラヘルンパルス光の前記被測定物の内 部での多葉度針を反映したものであり。

前記変次近似において、複業層析率又は複素誘電率の近 総解を与えて饕餮施哲學又は饕餮鱗鶯字の新たな近般解 を得るに際し、光が前距接期定物の周期の採費から前距 被衝走物へ入射するときの透過率、先が前紀被瀕進物か ら朝紀媒質へ射出するときの透過率、及び、前距多盤反 射に基づく項を、与えた近似解にて定まる既知数として 取り扱うことにより、新たな近似解を得る、

ことを特徴とする概定方法。

【請求項3】 被測定物の複素賠折率又は複素誘電率を 一脚定する脚定力法であって、

デラベルフバルス光の発生部と該発生部から発生して済 定の光路を経て調道するテラベルウバルス光を検出する 検出部とを用いて、前記光路上に前記被源定物を配置し た状態で、前配テラヘルフバルス光を前配被測定物に照 射することにより前距被測定物を反射して前距検出部に より検出されるバルス光の、電場強度の特系列波形であ る計測時系列放形を取得する段階と、

前紀光路上に前紀被測定物に代えて衝定の契料を配置し た状態で、前配路生部から発生され前配試料を反射して - 前記検出部にて検出されるパルス先の。戦場強度の時系 列波形である基準特系列波形と、創記計劃特系列波形と の関係に基づいて、前鉛液固定物の複素阻折率又は複素 誘電平を演算する演算段階と、

を備え..

前記演纂段階は、(a) 前記計測時系列波形をフーリエ 変換して得た所定期複数の複組と前距基準時系列を形を フーリエ変勢して得た前配所定開波数の振幅との具であ る前距所定開複数の振編率を求める段階と、(6)前記 計構時系列波形をフーリエ変換して得た前配所定量複数 た状態であるいは前紀光路上に前記波測定物も前記試料 60 の位相と前記基準時系列波形をフーリエ業機して得た前

宏所定周波数の位相との位相差を求める後端と、(e) 前距所定無複数の前距接幅率及び前配所定開放数の前記 位相差と前記被測定物の前記所定周波数の複素服託率又 は攘棄誘艦率との関係を示す式に基づいて、落次近似に より当該複樂賠折率又は複業誘黨率を求める設備と、を

- 蒴部式は、- 縦部テラヘルンパルス光の蒴部被瀕走物の内 影検出部側の面で1回のみ反射した光及び前記接測定物 の顔配検出部と反対側の部で1回のみ反射した光を反映。おしるいはこれらのいずれかに基づく物性値の、分布に従っ したものであり、

前紀逐次近似において、複楽開哲率又は複業務業率の近 伊鮮を与えて復業単計準又は復業誘電準の新たな近份解 を得るに難し、光が前記被測定物の周囲の媒質から前記 被鑑定物へ入射するときの透過率及び反射率、並びに、 光が前記被測定物から前記模質へ射出するときの透湯率 及び反射率を、与えた近似解にて定まる既知数として数 り扱うことにより、新たな近似解を得る。ことを特徴と する郷定方法。

【請求項4】 被測定物の複素賠折率又は複業誘電率を 20 謝定する謝定方法であって、

デラヘルツバルス光の発生器と談発生部から発生して済 定の光路を経て到達するテラヘルソバルス光を検出する 検出部とを用いて、前紀光線上に前記線衝定物を配置し た状態で、前紀テラベルンパルス光を節紀被測定物に強 針することにより前記波測定物を反針して前記検出部に より検出されるパルス光の、電場強度の時系列波形であ る計劃時系列数形を取得する段階と、

前配光路上に前距被測定物に代えて所定の試料を配置し た状態で、前部発生部から発生され前配試料を反射して 201 前配検出部にて検出されるバルス光の、電場強度の時系 列波形である基準時系列波形と、前配針網時系列波形と の関係に基づいて、前記被測定物の複楽原析率又は複楽 新選挙を演算する演算段階と、

企器注、

前配演算段階は、(3)前配針衝時系列波形をフーリエ 要挟して得た所定海波数の振幅と前記基準時系列放形を フーリエ変換して得た瑜陀所定簿複数の接線との比であ る韓紀所定開放数の振標率を求める段階と、(も)前記 計劃時系列被形をフーリエ変換して得た前記所定層被数 40 の位相と前記基準時系列波形をフーリエ変換して得た前 韶折定周波数の位相との位相差を求める段階と、(6) 前記所定開複数の前記機構率及び前記所定開複数の前記 位相差と前款被割定物の前記所定開被数の後署部折率又 は複素器電率との関係を示す式に基づいて、落次近似に より出版復業組折率又は復業誘電率を求める段階と、を 着し、

前記式は、前記テラベルツバルス光の箱記絃測定物の内 部での多葉反射を反映したものであり、

部部逐次近級において、複繁組折率又は複繁騰電率の近 50 び先が納能被瀕産物から前距媒翼へ射出するときの透過

毎報を与えて複素照折率又は複業誘電率の新たな近似解 を得るに際し、光が前記被約定約の周囲の媒質から前記 被瀕定物へ入射するときの透過率及び反射率、光が衝配 被測定物から前配爆簧へ射出するときの透過率及び反射 率。並びに、前記多蓋反射に基づく環を、与えた近影解 にて定まる既知数として取り扱うことにより、新たな近 銀盤を得る。

ことを特徴とする拠定方法。

【請求項5】 被測定物の複楽型折率又は複業誘電率み て、前に被測定物をイメージ化するイメージ化方法にお いて、前記被後物の蜀々の部位の後寒期折率又は覆寒勝 鐵準の測定に、請求項1乃至4のいずれかに記載の測定 方法を適用することを特徴とするイメージ化方法。

【簡本等6】 被無定物の機業展析率又は複業器電率を 瀬定する瀬定装置であって。

テラヘルツパルス先の発生部と終発生部から発生して所 定の光路を経て到達するデラベルフバルス光を検出する 後出部とを含み、前距光路上に前距線期定物を配置した 状態で、前記テラベルツパルス光を前記被測定物に照射 することにより前記被測定物を透過して前記検出部によ り検出されるバルス光の、電場強度の時差夠被形である 計劃時系列被形を維養する計劃時系列被形数異能と、 前紀光路上に前記被御定物に代えて所定の試料を配置し た状態であるいは前配光路上は前配被瀕塞物も前配試料 も配置しない状態で、前配発生部から発生されて前記検 出部にて検出されるバルス先の、電場強度の特系列激形 である基準時系列放形と、前配計劃時系列放形との関係 に基づいて、前配被制定物の複素脱折率又は複素誘電率 を演算する演算部と、

金鐵之。

物配液算部は、(a) 前配計測時差列波形をフーリエ祭 操して得た所定開波器の振幅と前距基準時系列波形をフ 一リエ変換して得た蒴配所定周波数の振幅との比である 的紀所定期複数の振幅率を求める振幅率複算部と、

(も) 前記針御時系列放形をフーリエ変換して得た前記 所定開接数の位相と前記基準時差列接形をフーリエ変換 して得た前配所定開被数の位権との位権差を求める位権 **並復寡部と。(c) 前記所定周波数の前記機幅率及び前** 紀所定期複数の前記位相差と前記憶測定物の前記所定備 複数の複樂維折率又は複樂誘騰率との関係を示す式に基 づいて、逐次近似により音誌複樂服折率又は複樂蓄電率 を求める逐次近似部と、を有し、

新配式は、新紀テラヘルフパルス光の新配被器定象の内 部での多葉反射を無視したものであり、

前犯逐次近似節は、前犯逐次近似において、複響原析率 又は複審鉄艦率の近望解を与えて複雑展折率又は複雑器 電車の新たな近似解を得るに難し、光が前記被測定物の 開閉の媒質から前記被測定物へ入射するときの透過率を

革を、与えた近似解にて定まる軽知数として取り扱うこ とにより、新たな近似解を得る、

ことを特徴とする網定装置。

【謝水項7】 被測定物の被素型折率又は複素器期率を 糊定する測定装置であって。

テラヘルツバルス光の発生部と談発生部から発生して所 変の光路を経て弱速するテラベルツバルス光を検出する 検出部とを含み、前距光路上に前記被測定物を配置した 状態で、綺麗テラベルツパルス光を輸配被勘定物に照射 り後出されるバルス光の、電腦強度の時系列波形である 計劃時系列放形を取得する針御時系列被形取得記と、

前紀光路上に前記被糊定物に代えて所定の試料を配置し た状態であるいは前記光路上に前記被測定物も前記試料 も配置しない状態で、前配発生部から発生されて前記検 出無にて輸出されるパルス光の、電場強度の特条列被形 である基準時差列抜形と、前記計劃時差列被形との關係 に基づいて、前記被測定物の複楽思哲学又は複素誘電率 全線算する演算部と、

奎缀文。

舶配復算部は、(a) 前距計画時系列表形をフーリエ変 換して得た所定周索数の振幅と前配基準時差列被形をフ 一リエ楽襲して得た前配所定開放数の振幅との比である 納配所定機波数の振幅率を求める振幅率演算部と、

(6) 新記計測時差列放影をフーリエ変換して得た箱記 所定顕波数の位相と前記基準時系列波形をフーリエ安後 して得た前配所定層複数の位相との位相差を求める位相 電源響部と、(2) 的配所定測波数の前配振幅率及び前 記所定期複数の前配位程差と前配線測定物の前記所定策 被数の複楽照析率又は複楽誘電率との關係を示す式に基 30 び反射率、並びに、光が前紀被測定物から前配媒質へ射 づいて、逐次近似により当該複楽服折率又は複素誘燃率 を求める墨次近似郷と、を有し。

前配式は、前紀テラヘルワバルス光の前距被測定物の内 器での多盤反射を反映したものであり、

葡萄酒次近旬部は、葡萄酒次近旬において、養養服折率 又は複素誘電率の近似解を与えて複素阻折率又は複素紙 電率の新たな近似解を得るに際し、光が前記被測定物の 舞曲の鑑賞から前記被測定物へ入射するときの透過率。 光が前記被測定物から前記媒質へ射出するときの透過 率、及び、動配多業度對に基づく項を、与えた近似線に「40」することにより前距接測密物を度對して前距線出盤によ て寛まる既知敬として取り扱うことにより、新たな近似 解を得る、ことを特徴とする例定装置。

【請求項8】 被測定物の被素型折率又は複素誘電率を 務定する額定装置であって、

サラヘルフバルス光の発生部と総発生部から発生して所 定の光路を経て報達するテラヘルンバルス光を検出する 輸出部とを含み、物配光路上に前記被測定物を影響した 状態で、前紀テラベルツバルス光を箱配被商定物に無射 することにより前記笈勘定物を反射して前記検出部によ 計劃時来列放形を取得する計劃時系列放形取得部と、 前紀光路上に前記被測定物に代えて所定の無料を影響し た状態で、前記幾生部から発生され前記試料を反射して 前総銭出部にて検出されるバルス先の、電場強度の特系 列放形である基準時系列放形と、前紀計劃時系列波形と の関係に基づいて、前記被測定物の複素履折率又は複素 新選率を選算する演算部と、

金鐵文。

物配液算器は、(a) 物配計衡時系列被形をフーリエ変 することにより前鉛液樹定物を透過して前鉛検出部によ (0 後して潜た研定関液数の接機と前鉛基準時系列液形をフ ーリエ変換して得た繭肥所定蹲液像の板幅との比である **創紀所定周被数の振幅率を求める振幅率演算部と、**

> (6) 新配針蘭時系列放形をフーリエ変換して得た前配 研定開放数の位相と前記基準特系列被形をフーリエ変換 して得た前紀所定周線数の位相との位相差を求める位相 養養養部と、(5)前配所定馬抜数の前配振幅率及び前 記折定衛放数の前配位相差と前配被測定物の前配所定開 波数の複素筋折率又は複素誘電率との関係を示す式に基 づいて、逐次近似により当該護案照折率又は饕滌鋳業率 20 を求める落次近似部と、を育し。

額記式は、箱記デラヘルツバルス光の顔影被測定物の内 部での多葉反射を無限するとともに、前距被測定物の前 記検出部側の笛で1組のみ反対した光及び輸配被攤定物 の開記検出部と反対側の部で1回のみ反射した光を反映 したものであり、

- 新記箋次近似部は、前記箋次近似において、複業単哲率 又は複業誘擎率の近似解を与えて複業限折率又は複業誘 #年の新たな近似解を得るに難し。 先が前記被測定物の 周囲の媒質から前記被測定物へ入射するときの透過率及 出するときの透過率及び反射率を、与えた近段解にて定 まる既知数として取り扱うことにより、新たな近似解を 得る、ことを特別とする測定装置。

【請求項 9】 被測定物の複素阻折率又は複素器電率を 測定する測定装置であって、

テラヘルンバルス光の発生部と緻発生部から発生して所 定の光路を経て調邀するデラヘルフパルス光を検出する 換出部とを含み、前記光路上に前記被測定物を配置した 状態で、前紀テラヘルツバルス光を前距被測定物に照射 り締出されるバルス光の。**電場強度の時系列波形である** 計劃時系列物形を取得する計劃時系列被形取得部と、 前記光路上に前記被勘定物に代えて所定の試料を整置し た状態で、前紀発生部から発生され前記試料を反射して 的配給出部にて検出されるバルス光の、電場強度の時系 程被形である基準時系列被形と、前配計器時系列後形と の関係に基づいて、助配被測定物の複楽服折率又は複素 誘電平を演算する演算部と、

を鑑え、

り検出されるパルス光の、電場強度の時系列放影である 50 前紀演纂部は、(a)前記針御時系列波形をフーリエ変

機して得た所定開微数の振幅と前記基準時系列波形をフ 一リエ変換して得た顔紀斯定開被数の振幅との比である 前配所定開波数の開稿率を求める振幅等減算部と、

(も) 前配針側時系列波形をフーリエ変換して得た前記 所定開放数の位相と前記基準時系列放形をフーリエ変換 して得た前配所定周波数の位相との位相差を求める位相 差演算部と、(c) 前配所定用数数の前配級福率及び前 配所定開被数の前配位相差と前配被制定物の前配所定用 波数の複響圏折率又は複響誘数率との関係を示す式に基 づいて、運水近似により当該複楽規括率又は複楽誘電率 16 を求める選次近似部と、を有し、

新記式は、前記テラヘルツバルス光の前記被測定物の内 然での多葉反射を反映したものであり、

前配逐次近似部は、前配逐次近似において、複響服役率 又は複素誘電率の近似解を与えて複素部折率又は複素誘 電率の新たな近似解を得るに振し、光が前記被測定物の 周囲の緩慢から前配被測定物へ入射するときの透過率及 び反射率、先が前記被測定物から前配媒質へ射出すると きの透過率及び反射率、並びに、前配多重反射に基づく 穣を、与えた近似解にて定まる疑知数として取り扱うこ。20 可能である。したがって、照析率の波曼依存性を求める とにより、新たな近似解を得る。

ことを特徴とする謝定装置。

【選求項10】 被削定物の複素品折率又は複素蓄電率 あるいはこれらのいずれかに基づく物性鏡の、分布に従 って、顔紅波湖定物をイメージ化するイメージ化装置に おいて、鎌水項も乃至りのいずれかに記載の湖泊装置を 合むことを特徴とするイメージ化装置。

【発明の詳細な説明】

[0001]

折率又は複單誘電率を測定する測定方法及び装置、並び に、これを用いた被瀕変物のイメージ化力法及び装置に 捌するものである。

100021

【従来の技術】物質はその性質に依存した器有の照析率 を持つ。また、題振率は、開放数(したがって、波数) により異なる鍵をとり、その阻折率の開放数依存性も物 翼に関有のものである。そこで、物質の性質を選べるた めに、光学的に物質の阻抗率を測定することが広く行わ れている。

【0003】フーリエ家機帯外分光法(FTIR法)な どの従来の分光法によって物質の透過光叉は反射光を測 定した場合に得られる情報は、エネルギー透過率又はエ ネルギー反射率のみであった。その樹定結果から物質の 部析率(一般に複素数)を求めるためには、エネルギー 透過率又はエネルギー反射率の周複数依存性を樹定し、 その結果に対して、ある環接数額域で理論式のパラメー タを非線形態小工業社などにより厳適化していた。

【0004】このような手法には複雑な計算が伴うた め、解析に時間がかかるなどの問題点があった。また、 50 響を逐次近似で取り扱うことにより、安定にかつ種度良

ある特定の開接数に対する複素限折率のみが必要な場合 であっても、選折率の開放数弦存性を求めるなどの爆雑 な手順が必要であった。

【0005】一方、テラヘルク分光法を利用して被測定 物の複雑組料率を拠定する測定方法が、ドコヴィラレッ 16 (Lionel Buyillaret, Frederic Caret, and Jean-Louis Couts:) ∅ 🗮 🕱 ("A Beliable Method for Extra ction of Material Parameters in Terahertz Time-Bom ain Spectroscopy", IEEE journal of Selected Todics In Quantum Electronics, Vol. 2, No. 3, pp. 739-746 (1996)) に勝章されている。

【0008】テラヘルン分光法では、振暢精報と位相情 勢の2つの情報を開時に得ることができる。前記論文に は、創定から得られる振儀透過率及び位相差と饕童隠折 拳との関係を示す式が関示されている。関定から得られ る値が2つ(振幅透過率と位相差)であるのに対し、未 知数が2つ(複塞展折率の実部を虚部)であるから、各 関節数において前記式に基づく 2 元蓮立方程式を解くこ とにより、各層複数における複素照折率を求めることが などの様雑な手様が不要となる。

【0007】しかしながら、この場合、無配2元遵立方 程式は非常に複雑な形になってしまうため、そのまま解 くことは極めて困難である。そこで、前配輪文に開示さ れた測定方法では、被測定物の内部での多葉反射を無視 する場合において、最適額を与えるとのになる常に負で ない評価関数 (error function) を導入し、この評価関 数を最小化することにより複素賠折率を求める手法を採 用している。さらに、前記論文には、被測定物の内部で 【発明の異する技術分野】本発明は、被測定物の容楽組 30 の多葉反射を考慮する場合において、拍記多葉反射に基 づかない際に関して評価関数を導入した上で、多重反射 じ基づく項を推動として取り扱い、逐次近似により機業 滋折率を求める手法を開示している。この逐次遊戲にお いては、複業賠折率の近位解を与えて複業賠折率の新た な近似解を得るに難し、多重反射に基づく項のみを。与 えた近部解にて定まる既知数として取り扱い。この既知 数に基づいて前記評価関数を最小化することにより、新 たな近似解を得ている。つまり、逐次近似の際に新たな 近似解を得る際に、毎細、評価関数最小化を行う。

40 (0008)

【発明が解決しようとする課題】前記論文に開示された 制定方法は、フーリエ変換赤外分光法等により複奏服折 翠を樹定する場合に比べて、照析率の被異依存性を求め るなどの損難な手腕が不要となるので、優れている。ま た、前記論文に開示された拠定方法は、多葉反射を無視 する場合に、評価期数利用することにより複雑組折率を 求めるので、複雑な形の式をそのまま解く場合に比べれ ば、計算量が低減され、測定時間の頻報化を図ることが できる。さらに、多葉反射を考慮する場合には、その影

く複業賠償率を求めることができる。

【0099】しかしながら、頼記論文に勝示された測定 方法では、逐次近親の際に新たな近似解を得る度に評価 開盤を最小化する計算を行わなければならず、複楽思折 率の測定のための計算量は非常に多くなる。

【0010】以上、複業服折率を瀕定する場合について 述べたが、周知のように複業賠折率と複素誘動率とは一 定の関係を有していることから、被測定物の複業機関率 を測定する場合についても同様である。

【0011】 本発明は、このような事情に鑑みてなされ 30 めるなどの擦練な手継が不要となる。 たもので、服折率の疲養依存性を求めるなどの顕雑な手 頭が不要となり、しかも、計算量を低減しかつ安定して 精度良く複素顕新率又は複素新業率を制定することがで きる謝定方法及び蒸騰、並びに、これを用いた被割定物 のイメージ化方法及び装置を提供することを目的とす。 ి.

[0018]

【輝耀を解決するための手段】 前距課題を解決するた め、本発明の第1の整様による測定方法は、被測定物の 養棄風折率又は養業勝電率を測定する測定方法であっ て、(1)デラベルンパルス主の発生部と該発生部から 発生して極度の光路を経て顕確するテラベルツバルス光 を検出する検出部とを用いて、前組光路上に前配接測定 物を配置した状態で、前能テラヘルツバルス光を前記数 期定物に開射することにより前配被測定物を透過して前 影検出部により検出されるバルス光の、電場強度の時差 列級形である計劃時系列級形を取得する級階と、(2) 前記光路上に前記被測定物に代えて所定の契料を配置し た状態であるいは前紀光路上に前距被測定物も前距試料 も配置しない状態で、前配発生部から発生されて前記後 30 出郷にて検出されるパルス光の、電場強度の特系列変形 である基準時系列変形と、前記計劃時系列変形との関係 に基づいて、前犯被測定物の複素照折率又は複素誘電率 を演算する演算段階と、を備えたものである。前記演算 段職は、(a) 前記計劃時系列被形をブーリエ変換して 得た所定開波数の機幅と前記基準時系列波形をフーリエ 要換して得た衝鉛所定度被数の接端との比である暗記所 定期被数の振幅率を求める段階と、(も) 前記計削時系 列波形をフーリエ豪機して得た前距所定関波数の位相と 被数の位相との位相差を求める級簿と、(c) 前紀所定 周波数の前記振幅率及び前記所定周波数の前記位相差と **前犯被測定物の前犯所定開放数の複素阻折率又は複業器** 電車との関係を示す式に基づいて、逐次近毎により出該 養素賠折率又は養素誘電率を求める段階と、を有する。 そして、この第1の整備では、前配式は、前配テラヘル フバルス光の前旋被瀕変物の内部での多葉反射を無視し たものであり、葡萄逐次近似において、篠寨照折率又は 養養誘盤率の近損解を与えて複素部折率又は複素誘電率 の新たな近似解を得るに際し、光が顕記被測定物の周囲 50 割時系列放形をフーリエ変換して得た前配所定開進数の

の爆魔から前記被捌定物へ入射するときの透過率及び光 が前記被衝突物から前記媒質へ射出するときの透過率 を、与えた近飯解にて定まる既知数として取り扱うこと により、新たな近似解を得る。

【6013】この第1の整機によれば、デラヘルワ分光 法を利用して、基準時系列級形と計劃時系列接形との関 孫に基づいて、絵郷定物の複楽部哲率又は複楽勝葉率を 演算するので、フーリエ変換亦外分光法等により複響器 折率を測定する場合と異なり、無折率の接受放存性を求

[0014] そして、前距第1の整様によれば、前配逐 次近似において、複楽風折率又は複楽誘撃率の近似解を 与えて寶楽部哲学又は複楽誘艦学の新たな近似解を得る に際し、光が朝紀振測定物の開題の演賞から前記被測定 物へ入射するときの透過単及び光が前配被測定物から前 記牒翼へ射出するときの透過率を、与えた近似解にて定 まる既知数として数り扱うことにより、新たな近似解を 得ている。したがって、箱配繳文に開示されている瀏定 方法と異なり、単純な反復計算だけを用いて計算量を低 20 減しかつ安定して精度良く寝業施折率又は饕業誘電率を 樹定することができる。

【0915】なお、前紀第1の整様による獨定方法は、 復業組括率又は複素誘塞率を兼終的な測定結果とする場 合のみならず、他の物性値を所望の最終的な創定結果と する場合において、当該物性鏡を得るための途中段階と して復業賠折率又は複業誘鐵學を得る場合にも、適用す ることができることは、置うまでもない。この点は、後 遊する第2乃至第4の態様及び第6乃至第9の態様につ いても、簡様である。

【6016】本発明の第2の糖様による測定方法は、被 測定物の審案展析率又は審業誘電率を測定する測定力法 であって、(1)テラヘルツバルス完の発生部と鉄発生 部から発生して衝定の光路を経て顕著するデラヘルツバ ルス光を検出する検出部とを用いて、前距光路上に前距 被樹定物を観瀾した状態で、前記テラペルツバルス光を 前記被謝定物に無射することにより前記被測定物を透過 して前記檢出部により輸出されるパルス光の、驚暴強度 の特系列級形である計劃時系列級形を取得する段階と、

(2) 前紀光路上に前記被測定物に代えて所定の業料を 蒴認基準務条列級形をフーリエ変換して得た蒴記所定期 40 配攤した状態であるいは前記光路上に前就被測定物も前 - 距域料も配置しない状態で、前配発生部から発生されて 前記検出部にて検出されるバルス光の。電場強度の時系 列放形である基準時差列波形と、前記計測時系列波形と の関係に基づいて、前記被測定物の複楽現折率又は複素 蓄電率を演算する演算段階と、を備えたものである。前 **契護薬級務は、(a) 前記針郷時系列級形をフーリエ変** 換して得た所定周波数の振幅と前記基準時差列波形をフ 一リエ変換して得た納記所定開波数の振幅との比である。 前紀形定周波数の振暢率を求める段階と、(6)前紀計

位相と前距基準時系列波形をフーリエ変換して得た前記 所定開波数の位称との位相差を求める段階と、(c)前 紀所定国被数の前記振幅拳及び前記所定周波数の前記位 相差と前記被測定物の前記所定周放数の複楽風折半又は 複審誘難率との関係を示す式に基づいて、逐次近似によ り当該獲業部折率又は複架誘電率を求める段階と、を有 する。そして、この第2の核様では、前続式は、前続デ ラヘルツバルス光の前記被測定物の内部での多葉反射を 反映したものであり。前記逐次近似において、複素照析 誘電率の新たな近級解を得るに際し、光が前記被測定物 の開翻の媒質から前記被謝定物へ入射するときの透過 率、光が前距被衝突物から前距緩緩へ射出するときの透 - 選挙 及び、前記多蓋反射に基づく項を 。与えた近似解 にて定まる疑知数として歌り扱うことにより。新たな近 銀盤を得る。

【0017】前配所定濁波数の前配振幅率及び前配所定 異複数の前配位相差と前記被測定物の前配所定周波数の 復業題折率又は複業誘電率との関係を示す式として、前 記簿1の態機ではデラヘルフバルス光の前記被測定物の 20 内部での多葉反射を無視したものであったのに対し、前 記載2の整様ではこの多重度針を反映したものが用いら れている。したがって、前記第2の整様によれば、前記 第1の修修に比べてより構度良く複素服折率及び複素熱 職事を瀕棄することができる。そして、前配第2の総様 では、前距逐次近似において、複零部折率又は複聚網載 率の近似解を与えて複素賠折率又は複素誘動率の新たな 近似解を得るに際し、光が納鉛被測定物の周囲の緩緩か ち前距被測定物へ入射するときの透過率及び光が前記被 翻定物から前記媒質へ射出するときの透過率のみなら ず、前記多重反射に基づく項を、与えた近似解にて定ま る既知数として取り扱うことにより、新たな近似解を得 ている。したがって、前配第2の態様によれば、前配線 文に関示されている測定方法と異なり評価関数を用いる ことなく、計算量を低減しかつ安定して精度良く復業期 折率又は複素誘電率を制定することができる。

【0018】本発明の第3の無様による制定方法は、核 別定物の複素型折率又は複素誘電率を測定する別定方法 であって、(1)テラヘルツバルス光の発生器と鉄築生 部から発生して預定の光路を経て到達するテラヘルンパー40 射率を、与えた近線解にて定まる既知数として取り扱う ルス光を検出する縁出部とを用いて、前配光線上に前距 被測定物を配置した状態で、前配テラベルフパルス光を 前記被糊定物に無射することにより前記被割定物を反射 して前配線出部により輸出されるパルス光の、機場強度 の時差列級形である計劃時系列級形を取得する段階と、

(2) 前紀光路上に前記被測定物に代えて所定の解料を 配置した状態で、前配発生部から発生され前配料料を反 射して前記後出部にて検出されるバルス先の、難暴強度 の時系列波形である基準時系列波形と、前配針瀬時系列 は複素誘爆率を複響する演算段階と、を構えたものであ る。物配液算段指は、(a) 前配計制時系列放形をフー リエ変操して得た所定開波数の振觴と前記器準時系列波 形をフーリエ変接して得た前配所定周被数の振幅との比 である効配所定周波数の振幅率を求める段階と、(も) 前記計御時系列敦形をフーリエ豪操して得た前記所定開 被数の位相と暗記基準時系列液形をフーリエ変換して等 た前紀所定開波数の位相との位相差を求める段階と、

(e) 納犯所定開放数の前記振幅率及び前配所定開放数 率又は複素誘電率の近似解を与えて複楽組折率又は複楽 10 の前配位相差と前配被測定物の前配所定周波数の複楽組 折事又は複響誘電率との関係を示す式に基づいて、変数 近似により当該複業組折率又は複素誘電率を求める段階 と、を寄する。そして、この第3の整様では、輸配式 は、前記テラベルツバルス光の前配被測定物の内部での 多葉反射を無視するとともに、前距被測定物の前距検出 部側の面で1回のみ反射した光及び前距被器定物の前距 輸出銀と反対側の面で1回のみ反射した光を反映したも のであり、前記逐次近似において、複業選折率又は複業 誘電率の近似解を与えて複楽部折率又は複楽誘電率の新 たな近似解を得るに難し、光が前記被測定物の開墾の媒 盤から前記被衝定物へ入射するときの誘適率及び反射 本、並びに、光が前記被測定物から前記媒質へ射出する ときの誘動率及び反射率を、与えた近假解にて定まる既 知識として取り扱うことにより、新たな近似解を得る。 【0019】前記第1の整導では被測定物を透過した透 過光が用いられているのに対し、前配第3の整様では被 樹定物で反射した反射光が用いられている。前額第3の 糖様によれば、テラヘルク分光法を利用して、基準時差 列波形と計劃時系列波形との関係に基づいて、被撤定物 30 の複素服折率又は複素勝載率を演算するので、フーリエ 安陽市外の光池等により複雑開新率を測定する場合と異 なり、無折率の放長依存性を求めるなどの環難な手順が 不要となる。

【0020】そして、前配第3の整機によれば、前配逐 水折似において、複楽船折率又は複楽誘電率の近似解を 与えて物業服折率又は複業誘電率の新たな近形解を得る に際し、光が前記被勘定物の周囲の鑑賞から前記被測定 物へ入射するときの透過率及び反射率、並びに、先が前 記被御定物から前記媒質へ射出するときの透過率及び反 ことにより、新たな近似解を得ている。したがって、前 影論文に開示されている期定方法と異なり、単純な反復 計算だけを用いて計算量を低減しかつ安定して精度良く 機業照折率又は複業誘電率を測定することができる。ま た、前距第3の整様では、前距振幅率及び前距位相差と 複雑組折率又は複素誘動率との関係を示す式として、多 重度射は無視されているものが使用されているが、緻密 主物の前記権出部側の部で1回のみ反射した光及び接着 定物の前記検出部と反対側の面で1回のみ反射した光を 被形との関係に基づいて、前記被測定物の複素維折率又 50 反映したものが用いられているので、この反対側の面で

1 間のみ反射した光も無視したものを用いる場合に比べ て、より精度点く複楽無折率又は複楽誘電率を測定する ことができる。

【0021】本発明の第4の整機による測定方法は、被 親定物の複繁組折率又は複器誘電率を創定する創定方法 であって、(1) デラヘルツバルス光の発生部と該発生 部から発生して研究の光路を経て影達するテラヘルツバ ルス光を検出する検出部とを用いて、納恕光路上に納記 被測定物を配置した状態で、前記テラヘルツバルス光を 前距被測定物に照射することにより前距被測定物を反射 10 ることができる。 して新紀後出部により検出されるパルス光の。離場強度 の特系列線形である計構特系列線形を取得する政務と、

(2) 前記光路上に前記被測定物に代えて所定の試料を 影響した状態で、前記発生部から発生され前記試料を反 射して前距検出部にて検出されるパルス光の、電場強度 の時系列波形である基準時系列波形と、前紀計測時系列 放形との関係に基づいて、前犯被拠定物の被素品折率又 は複楽誘電率を演算する演算段階と、を備えたものであ る。前配塞署級階は、(a) 前配計劃時系列被形をフー リエ変換して得た所定開被数の振幅と前配基準時差列被 20 形をフーリエ変換して得た前距所定開放数の振幅との比 である前記所定周波数の振編準を求める段階と、(も) 箱紀對獨時系列被形をフーリエ変換して得た前記所定開 複数の位相と前記基準時系列波形をフーリエ変換して得 た前配所定簿被数の位相との位相強を求める段階と、

(c) 前配所定用波数の前配接編準及び前配所定周波数 の特配位相差と前配被制定物の前配所定周被数の複素原 折率又は獲事誘電率との関係を示す式に基づいて、逐次 近似により当該後業居哲学又は後業賃電学を求める段階 と、を有する。そして、この第4の整様では、前記式 は、前靶チラヘルンパル入光の前配被測定物の内部での 多葉反射を反映したものであり、前部逐次近似におい て、饕餮展折率又は饕餮欝鬱率の近辺解を与えて饕楽原 折率又は複素誘電率の新たな近回解を得るに際し、光が 物配被測定物の開閉の媒質から前配被測定物へ入射する ときの透過単及び反射率。光が前記被測定物から前記線 養へ射出するときの透過率及び反射率、並びに、前記多 **業反射に基づく項を、与えた近似解にて定まる既知数と** して歌り扱うことにより、新たな近似解を得る。

【0022】前記所定開放数の前記機構率及び前記所定 40 関波数の前記位指摘と前記被謝定物の前記所定周波数の 複素銀折率又は複素誘燃率との関係を示す式として、前 記第3の機様ではサラヘルツバルス光の前記被測定物の 内部での多重反射を無視したものであったのに対し、前 認第4の態機ではこの多重反射を反映したものが用いら れている。したがって、前配第4の整模によれば、前配 第3の整様に比べてより精度良く複素服折率及び複素誘 **翠準を測定することができる。そして、前距第4の態様** では、前記道水近似において、農業銀折率又は農業誘電

近似解を得るに解し、光が前配被衝突物の層間の爆撃か ら前鉛被測定物へ入射するときの透過率及び反射率。並 びに、光が前記被測定物から前記媒質へ射出するときの 透過率及び反射率のみならず、輸配多重反射に基づく項 を、与えた近級解にて変まる既知数として数り扱うこと により、新たな近似解を得ている。したがって、前配第 4の機様によれば、約配繳文に額示されている額ま方法 と異なり評価関数を用いることなく、計算量を低減しか つ安定して特度及く複業賠折平又は複業誘衛率を制定す

【0023】本発明の第5の態機によるイメージ化方法 は、被源定物の複素選折率又は複素誘電率あるいはこれ ちのいずれかに基づく物性値の、分布に従って、前配被 | 数定物をイメージ化するイメージ化方法において、前紀 按検物の領々の部位の複奏照折率又は複奏誘鍵率の樹定 に、納記第1万正第4のいずれかの整機による測定方法 を適用するものである。前配物性値は、複素賠折率又は 複素誘電率と関連のあるものであればよく、例えば、半 導体のキャリア窓度や移動度などを挙げることができ

【0024】この第5の整様によれば、前記第1万至第 すのいずれかの態機による制定方法が適用されるので、 被測定物の個々の部位の複素照折準又は複素誘魔率を針 算数を抵減しかつ安定して精度良く得ることができる。 したがって、イメージ化のための針翼艦が全体として大 傷に低減され、その利点は著しい。

【0025】本発明の第6の態様による謝定装置は、絵 割定物の複素照折率又は複素誘鍵等を測定する測定装置 であって、(1) テラヘルツバルス先の発生部と都発生 30 部から発生して例定の光端を経て知識するテラヘルンパ ルス光を検出する検出部とを含み、前紀光路上に部紀綾 - 樹定物を配置した状態で、前記テラヘルツバルス光を精 影技術定物に照射することにより前能技術定物を承急し て前記検出部により検出されるパルス光の、電場強度の 特系列線形である計劃時系列線形を取得する計劃時案列 被形取得部と、(2) 前紀光路上に前記被粉定物に代え て研定の試料を配置した状態であるいは前距光路上に前 記憶態定物も前記試料も配置しない状態で、前記是生部 から発生されて朝配検出部にて検出されるパルスをの。 鐵場強度の特系列波形である基準時系列波形と、南鉛計 郷時系列級形との関係に基づいて、前紀被測定物の複素 部折率又は存業誘電率を演算する演算部と、を備えたも のである。前距演算部は、(*)前犯計測時系列被形を フーリエ変換して得た所定開放数の振幅と前記蓋準時系 利波形をフーリエ変換して得た前記用定層複数の基礎と の比である前記所定開放数の機構率を求める振幅準微器 部と、(も)前記計劃時差列波形をフーリエ変換して得 た前紀所定開複数の位相と前記基準時系列放形をフーリ 工変換して得た前配所定周数数の位相との位相差を求め 準の近銀解を与えて複素選折率又は複素誘電率の新たな 80 る位相差複算部と、(ε) 施配所定調整数の舶配養報率

及び前犯所定用收款の前配位相差と前配被制定物の無犯 所定開仮数の複素組括率又は複素誘動率との関係を示す。 式に基づいて、逐次近似により出該機業用折率又は機業 誘電率を求める逐次近似部と、を有する。そして、この 第6の整機では、前配式は、前配テラベルフバルス光の 前記被測定物の内部での多葉反射を無視したものであ り、前配選次近位等は、前配逐次近似において、複素限 哲學又は複潔器奠率の近似解を与えて複素単折率又は複 業務業準の新たな近似解を得るに終し、光が前記被測定 物の展開の媒質から前犯被測定物へ入射するときの透過 19 率及び光が前配被測定物から前配線質へ射出するときの 護満率を、与えた近似線にて変まる緩知数として取り級 うことにより、新たな近似解を得るものである。

19

【0026】本発卵の第7の機器による薬定整盤は、核 謝定物の機業器折率又は機業誘電率を測定する測定装置 であって、(1)テラヘルツバルス光の発生器と絃発生 部から発生して所定の光路を経て到達するテラベルツバ ルス光を検出する検出部とを含み、前記光路上に前記被 激定物を配置した状態で、前記テラヘルソバルス光を前 紀被撤定物に照射することにより前配被測定物を透過し 20 て納記検出部により検出されるバルス先の、電場強度の 母系列級形である計衡時系列数形を取得する計劃時系列 て所定の契料を配置した状態であるいは前記光路上に前 記被衛定物も前記試料も配置しない状態で、前記発生部 から発生されて朝記検出部にて検出されるバルス先の、 電場強度の時差列波形である基準時差列波形と、前記計 謝時系列波形との関係に基づいて、前記被測定物の複素 羅新華又は複業器電率を演算する演算部と、を備えたも のである。前距演算部は、(a)前距計測時系列波形を 20 フーリエ変換して得た所定層数数の振幅と前記基準時系 列波形をフーリエ変換して得た前記所定周波数の振幅と の比である前配所定周波数の振幅率を求める振幅率演算 部と、(も) 前記計器時系列波形をフーリエ変機して得 た前犯所定期被数の位相と前記基準時系列被形をフーリ 工変換して得た前紀所定周複数の位相との位相差を求め る位相差減算部と。(c) 前配所定期放散の前配振幅率 及び前配所定角数数の前配位相差と前配物制定物の前配 所定所被数の簡素照析率又は複素誘電率との関係を示す 式に基づいて、逐次近似により当該複素賠折準又は複素 40 誘端率を求める遊次近似部と、を有する。そして、この 第7の整様では、前記式は、前記テラヘルウバルス光の 胸記被測定物の内部での多葉反射を反映したものであ り、簡配要表面似部は、簡配要表面似において、複集組 折率又は複素誘簧率の近似解を与えて複舞器折率又は複 署務撤率の新たな折損解を得るに繰し、光が箱配接測定 物の周勝の媒質から前記被測定物へ入射するときの透過 率、光が前記被謝定物から前記降賞へ射出するときの選 選挙、及び、前記多重反射に基づく項を、与えた近辺解 にて窓まる既知数として取り扱うことにより、新たな近 50 埼英列波形である針綱時系列波形を取得する針例時系列

照解を得るものである。

【0027】本発明の第8の態機による器定装置は、綾 海定物の簡単照折率又は複単勝電車を測定する測定接機 であって、(1) サラヘルンバルス光の発生部と絃発生 郷から発生して研究の光路を経て到慮するデラヘルツバ ルス光を検出する検出部とを含み、前紀光路上に前記核 | 類定物を配置した状態で、顔配テラヘルツバルス光を箱 紀被測定物に照射することにより前記被測定物を反射し て前配検出部により検出されるバルス光の、電場強度の 特系列技形である計劃時系列技形を取得する計劃時系列 波那取得部と、(2) 前紀光路上に前記被測定物に代え て所定の終料を配置した状態で、前配発生部から発生さ れ前紀試料を反射して前紀後出部にて検出されるバルス 光の、端陽強度の時差列放形である基準時差列放形と、 前記針衡時系列波形との関係に基づいて、前記被測定物 の後素用折率又は後素誘電率を演算する演算部と、を備 えたものである。前記演算部は、(a) 前記計器時条列 波形をフーリエ変換して得た所定周波数の振幅と前距基 澤時系列波形をフーリエ変操して得た前紀別市園波数の 報稿との比である前犯別定期放散の振幅率を求める振幅 李潔寡部と、(も) 開配計劃時差列波形をフーリエ変像 して得た節配所定周波数の位相と前記基準時条列波形を フーリエ変換して得た曲配所定置波数の位相との位相差 を求める位相差譲襲部と、(こ) 前記所定周波数の前記 報福率及び前配所定周波数の前配位相差と前配被制定物 の前紀所定開放数の複楽部折率又は複楽誘電率との関係 を示す式に基づいて、選次近似により当該複素層折率文 は複素誘電率を求める選次近似部と、を有する。そし て。この第8の餘様では、納配式は、前配テラベルツバ ルス光の前記被測定物の内部での多葉反射を無視すると ともに、前記被測定物の前記検出部側の面で1回のみ反 射した光及び軸影被郷定物の軸影接出郷と反対側の誰で 上回のみ反射した光を反映したものであり、前配療次近 母部は、前紀逐次近母において、複楽無折等又は複楽像 職率の近似解を与えて複響照折率又は複響誘艦率の新た な近似解を得るに際し、光が朝記被測定物の周囲の謀策 から前記被据定物へ入射するときの透過率及び反射率。 並びに、光が創紀被測定物から前紀藻質へ射出するとき の透過率及び反射率を、与えた近似解にて定まる最知数 として歌り扱うことにより、新たな遊椒解を得るもので 300

【0028】本発明の第8の態様による網定装置は、被 制定物の複業器折率又は複素誘電率を測定する測定装置 であって、(1)テラヘルンパルス光の発生部と誘発生 部から発生して所定の光路を経て到業するテラヘルツバ ルス光を検出する検出部とを含み、前記光線上に前記被 額定物を配置した状態で、前部テラヘルンパルス光を前 記被測定物に原射することにより前記被測定物を反射し て前記検出部により検出されるバルス光の、電場強度の

波形取得那と、(2) 输配光路上比缩配被撤步物に代え て衝定の試料を配置した状態で、前記器生認から発生さ れ施設試料を反射して前記検出部にて検出されるバルス 光の。職場強度の特系列線形である基準特系列級形と。 前記針獨時業列政形との関係に基づいて、前配被測定物 の機器展示単又は複素機関率を複算する複算的と、を微 えたものである。前配復纂部は、(*) 新配計圏時系列 裁形をフーリエ変換して得た所定開波数の振幅と前配器 準時系列級形をフーリエ変換して得た前記所定周波数の 振幅との比である前配所定開放数の振幅率を求める振幅 10 草演算部と、(も)的配針側綺玉列液形をフーリス変換 して得た前配所定周波数の依相と前配基準時差列波形を フーリエ変換して得た納約所定開放数の位相との位相差 を求める位相推演算部と、(こ) 前配所定周波数の前記 振幅率及び前配所定用複数の前配位相差と前配被測定物 の前配所定周被数の寝塞屈折率又は複業誘躍率との関係 を示す式に基づいて、逐次近似により当該複繁部折率又 は篠寨勝電車を求める墨次近似部と、を有する。そし て、この第9の整機では、前配式は、前配テラハルンパ ルス光の前配被網定物の内部での多葉反射を反映したも 20-のであり、前配逐次近似部は、前配逐次近似において、 複業混折率又は複素誘電率の近似線を与えて複素展析率 又は復素誘覚率の新たな近似解を得るに際し、光が前記 被測定物の周囲の襲簧から前記被測定物へ入射するとき の透過華及び反射率、光が納記被測定物から前記模数へ 射出するときの透過率及び反射率、並びに、前部多重反 **針に基づく項を、与えた近似解にて定まる既知数として** 歌り扱うことにより、新たな近似解を得るものである。

【0029】前記第6乃至第9の修像によれば、前記第 1乃至第4の修修による測定方法をそれぞれ変現するこ 30 とができる。

【6036】本発明の第10の整様によるイメージ化装置は、整測定物の複業屈折率又は複素誘電率あるいはこれらのいずれかに基づく物性値の、分布に従って、前距被測定物をイメージ化するイメージ化装置において、前距第5万至第9のいずれかの機様による調定装置を含むものである。この第10の整様によれば、前距第5の整様によるイメージ化力法を実現することができる。

100311

【発明の実施の影盤】以下、本発明による測定方法及び 40 装盤、並びに、イメージ化方法及び装置について、図面 を参照して説明する。

【0032】 [第1の実施の形態]

【0093】関1は、本発明の第1の実施の形態による イメージ化装置を模式的に示す摄略構成図である。図2 は、本実施の形態における被測定物20の測定部位付近 の様子を模式的に示す図である。図3は、本実施の形態 によるイメージ化装置の制御・液算処理第23の動作を 示す概略フローチャートである。

【6034】本実施の形態によるイメージ化装置では、

図1に示すように、レーザ光準等からなるフェムト秒パルス光像1から放射されたフェムト秒パルス光1.1が、ビームスブリック2で2つのパルス光1.2, 1.3に分割される。

【0035】一方のパルス光し3は、デラヘルン光発生 勝7を勝起して発生器でにデラヘルフパルス光を発生させるためのポンプパルス (パルス酸超光)となる。この ポンプパルスし2は、デョンパ3によりチョッピングされた後に、平面反射緩4.5.6を経て、デラヘルン光 発生器でへ導かれる。他方のパルス光し3は、デラヘル ツパルス光を検出するタイミングを定めるプローブパル ス(サンプリングパルス光)となる。このプローブパル スし3は、平面反射緩8.2枚もしくは3枚の平面反射 緩が緩み合わされてなる可動緩9.及び平面反射緩10 を経て、デラヘルン光検出器11へ導かれる。

【0036】プローブパルスよ3の光路上に配置された 可勤緩3は、制御・演算処理第23による制御下で、移 動機得12により矢印X方向に移動可能となっている。 可勤緩3の移動量に応じて、プローブパルスよ3の光路 長が変わり、プローブパルスよ3が後出籍31へ到端す も時間が遅延する。すなわち、本実施の形態では、可勤 綴9及び移動機構よ2が、プローブパルスよ3の時間遅 価等機定構成している。

【9097】発生器7に導かれたガンブバルス12によ り、発生器でが勘測されてデラヘルツバルス充しすを放 射する。デラヘルツバルス光しまとしては、機和り、1 ×10°′から100×10°°ヘルフまでの陶瓷数額 | 縦の光が麗ましい。このテラヘルクバルス光しょは。放 物面銀等の曲開鎖13、14を経て集光位置に集光され る。本異胞の形態では、この集光位量には、緩衝定物を りの衝定部位が配置される。ここでは、被衝定物20 は、厚みるが既知の平行平板をなす板状部材とされ、均 一な物質で構成されているものとする。もっとも、絃響 定物20はこれに限定されるものではなく、例えば、テ ラヘルソバルス光を周囲的に照射する場合には、単みる は既知であれば郷定部位毎に異なっていてもよい、幼園 定物20は、デラヘルツバルス光1.4の被測定物20に 対する光輪が被測定物20の面の治線とほぼ一致するよ うに、配置されている。御定検疫を高めるためには入射 | 角度分布が狭い力が良いので、被御定物20に入射する デラヘルフバルス光毛4の最も外側の光線と光輪とのな す角が小さい方が良い。一方、イメージとして空間分解 鑑を高めるためには、前配角度が大きい方が良いため、 必要に応じて前距角度を決定する必要がある。イメージ が不必要な場合には、顕面には示していないが、テラペ ルンパルス先し4が被糊定物20に対して平行光として 入射するような限制光学系を採用した方が、樹定経度を 向上させる上でより好ましい。以下の説明では、テラヘ ルンパルス光が披顔変物とりに難識に入射するものとし 50 て説明するが、個入射の場合も開機である。

【0038】また、本実施の形態では、被源定物20 は、ステージ等の移動機構26によって、被測定物20 の間内の方向に2次元的に移動可能となっている。これ により、被測定物20の測定部位を2次元的に走変し得 るようになっている。

【9039】被制定物20を透過したデラヘルンパルス 光し5は、放物面線等の曲面線15、16を経て、後出 器11により後出されて鍵気信号に変換される。

【6040】フェムト沙バルス光線1から放射されるフェムト沙バルス光上1の繰り返し周期は、数区日2から 10 MH2オーダーである。したがって、発生器7から放射されるテラヘルツバルス光上4も、数区日2からMH2 オーダーの繰り返して放射される。現在の検出器11では、このテラヘルツバルス光の被形を瞬時に、その形状のまま計測することは不可能である。

【0041】したがって、本実施の影響では、同じ被形 のデラヘルンパルス変しるが数代目でから傾目でオーダ 一の繰り返しで到来することを利用して、ポンプバルス しるとプローブバルスしるとの簡に時間遅延を設けてテ ラヘルフパルス変乱もの放影を計測する、いわゆるボン 20 ブーブローブ缶を採用している。すなわち、デラヘルツ 光陽生器7を作動させるポンプバルスも2に対して、テ ラヘルン光検出器11を作動させるタイミングをで移だ け遅らせることにより、、軽だけ遅れた時点でのテラへ ルツバルス光しるの難場強度を検出器11で網定でき る。葉い徳えれば、プローブバルスも3は、デラヘルツ 光検出器11に対してゲートをかけていることになる。 また、可動競りを徐々に移動させることは、遅延時間と を徐々に変えることにほかならない。前記時間遊延装置 によってゲートをかけるタイミングをずらしながら、繰 36 り返し頻素するテラヘルツバルス先しるの各選疑時間で ごとの特点の電券施度を検出器11から電気信号として 顆次得ることによって、デラヘルンパルス光しらの電場 強度の特系列級形印(モ)を計劃することができる。

【0043】なお、テラヘルン光検出器11は、プローブパルスも3を受けた時のみ光筋総キャリアを生ずるようになっており、関時にテラヘルンパルス光の電線がかかっていれば、その電場に比例した光伝導電流が流れる。このとき側定される電流 「(*) は、テラヘルンパルス光の電場を(i) と光筋総キャリアの光伝導度。(t-1)のコンボリューションで変せ、 」(*) = 「E(t) & (t-1) がテルタ関数的であるので、創定された電流値 「(t) は到来するテラヘルンパルス光も5の電機度を(t) に比例すると考えてよい。検出器11からの電気信号は、増幅器21で増修された後に、A/D変換器22によりA/D変換される。

【0043】本実施の形態では、テラヘルフバルス先上 5の電場強度の時系列放形 E(t)の計劃時には、制御 ・演算処理部23が、移動機構12に制御信号を与え て、前記選送時間:を徐々に変化させながら、A/D変 機器22からのデータを制御・液塞処理部23内の脳示 しないメモリに駆改格納する。これによって、最終的 に、デラヘルンパルス光も5の機場強度の時系列級形を (*)を示すデータ全体をメモリに格納する。そして、 制御・液塞処理部23が、移動機構26に結構信号を与 えて、被測定約20の測定部位を2次元的に順次走激さ せ、各側定部位についてそれぞれ、時系列核形を(*) を示すデータ全体をメモリに格納する。

【9044】ここでは、発生器7と検出器11との間の 光路(本実施の形態では、図1に示すテラヘルンバルス 光し4の無光位置)に被衡定物2のが配置された状態 で、前述したようにして計測される、テラヘルンバルス 光の整盤強度の時系列波形E(1)を、計劃時系列波形 E,.. (1)と呼ぶ。

【0045】以上の報酬からわかるように、本実施の形態では、始述した要換1~16,21,22,26と、初郷・演奏処理部23が前述した稼動機構12,26を初郷する機能と、排御・演奏処理部23がA/D変換器22からデータを取り込む機能とが、各郷定部位について計劃時差列被形形。、(() を取得する計劃時系列被形取得部を構成している。制御・演奏処理部23位、後述する顕3に示す動作を行うが、例えば、コンピュータを用いて構成することができる。

【0046】ここで、本実施の形態で採用されている、 計測時系列放影を、、(1)に基づいて被測定物20の 複素循析率N(ω)を求める手法について、説明する。 【0047】発生器7と検出器11との間の光路上に被 顔定物20を配置しない状態で、計測時系列被形を、、 (1)の場合と同様に、テラヘルンパルス光の鑑揚強度 の時系列放形を(t)を、予め計測しておく。この時系 列放形を(t)を基準時系列放形を、、(t)と呼ぶ。 【0048】基準時系列放形を、、(t)と呼ぶ。 【0048】基準時系列放形を、、(t)と呼ぶ。 「0048】基準時系列放形を、、(t)について、次の数1で定義されるようなフーリエ変機を実行して、参 照用(基準用)の振幅【を、、(ω) [と位相り、、(t)について、次の数1で定義されるようなフーリエ変機を実 行して、次の数1で定義されるようなフーリエ変機を実 行して、次の数1で定義されるようなフーリエ変機を実 行して、次の数1で定義されるようなフーリエ変機を実 行して、液の数1で定義されるようなフーリエ変機を実 行して、液解目を、、(ω) [と位相り、、(ω)を得 る。

40 [0049]

(#1)

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E(t) \exp(i\omega t) dt = \left| E(\omega) \left| \exp[i\theta(\omega) \right| \right|$$

【0050】さらに、次の数さに従って、被測定物20 の複繁振線透過率 t(ω) を求める。すなわち、振線! E., (ω) | と振幅| E... (ω) | と比である振線透 過率 T(ω) を得るとともに、位相0... (ω) と位相 0... (ω) との位相差φ (ω) を得る。

50 [0051]

[#2]

$$I(\omega) = \frac{E_{sun}(\omega)}{E_{sel}(\omega)} = \frac{|E_{sun}(\omega)|}{|E_{rel}(\omega)|} \exp[i \langle \theta_{sun}(\omega) - \theta_{rel}(\omega) \rangle]$$

$$= T(\omega)e^{i\phi(\omega)}$$

33

【0052】一方、物質(絵測定物20)の複素振幅等 過率も(ω)は、物質の複業超折率目(ω)で変すこと ができる。今、光が媒質から物質に入射するときの複選 透過率及び複素反射率をそれぞれま。(ω)。よ 、(ω)とし、物質から媒質へ射出するときの篠楽活造 率及び複素反射率をそれぞれ t。 (ω), r。 (ω) と すると、これらの値は、次の数3~数6で単ずように。 物質の複素照析率以(ω)を用いて表される。ただし、 ここでは、破機定物20が空気中又は翼空中にあるもの として、被測定物20の両側の媒質の開街率の。ほ1と した。もっとも、それ以外の場合でも開機であり、入射 個と射出側の複響が開一である必要もない。

[0053]

[8 %]

$$t_i(\omega) = \frac{2}{N(\omega) + 1}$$

[0054]

$$r_{i}(\omega) = \frac{1 - N(\omega)}{1 + N(\omega)}$$

[0055]

$$t_2(\omega) = \frac{2N(\omega)}{N(\omega) + 1}$$

[0056]

[308]

$$r_2(\omega) = \frac{N(\omega) - 1}{N(\omega) + 1} = -r_1(\omega)$$

【0057】また、被鄰定物20の複樂船折學N(w) は、n。(ω)、n。(ω)を実数として、次の数7で 40

 $A = I_1(\omega) \cdot I_2(\omega) \times \sum_{i=1}^{\infty} \{r_2(\omega)\}^{2i} \exp \left[i \left\{ 2I \cdot N(\omega) \cdot \frac{\omega}{2} d \right\} \right]$ $= |A| \cdot \exp(t \arg A)$

【0063】数8に数2及び数7を代入すると、次の数 10が得られる。数10は、数幅透過率で(m)及び位 程差φ (ω) と複業服折率N (ω) = nx (ω) + i n 。(ω)との関係を示す式であり、m=+0とすると多葉 接触を繁躁したものとなり、血溢1とすると多業度射を 50 総こりうる多素度射の函数がわかる。直接、對照時期限

wana. 100581 188 7 Y

$$N(\omega) = n_{\alpha}(\omega) + in_{\beta}(\omega)$$

【0069】被鄭定物20を誘鹉するテラペルツバルス 光には、図2(a)に示すように被測定物20の内部で 反射せずに透過する光 (多重反射でない透過光)、関2 (も)に示すように被測定物20の内部で2回反射して 透過する光(1回多葉灰鞋した光)、器2(c)に示す ように被務定物20の内部で4回反射して透過する光 (2部多重反射した光)、図2(4)に示すように被影 定物20の内部で21回反射して透過する光(1回多面 20 接触した光)が含まれる。ここで、日はり以上の整数で 80 S.

【0080】 四回までの多葉反射を考慮すると、複異線 福騰通率 ((ω) は、ωを光の角層複数。さを被差定物 20の厚さ、こを光速として、次の数8で変される。た だし、数多において、Aは次の数9で形すように置い

[0061] 140 8 E

100621

(W9)

$$|f(\alpha) = f_1(\alpha) \cdot f_2(\alpha) \cdot \exp\left[i[N(\alpha) - 1] \frac{\alpha}{c}d\right]$$

$$\times \sum_{i=0}^{n} \left[f_2(\alpha)\right]^{2i} \exp\left[i\left(2i \cdot N(\alpha) \cdot \frac{\alpha}{c}d\right)\right]$$

$$= \exp\left[i[N(\alpha) - 1] \frac{\alpha}{c}d\right] \times A$$

「反映したものとなる。本実施の形態では、E(t)の衡 定は移動機構12の長さによって定まる最大運用時間で 打ち切られる。このとき、被測定物20の厚させどおお まかな悪折率がわかっていれば、前記最大選組時間内に

接形から判別可能な場合もある。複素展析学の測定精度

をより高めるためには、mを補配多数反射の回数と一致

古せることが好ましいが、本実施の影響では、多葉反射

を無視しても考慮してもよく。mるのの任意の整数に設

変しておけばよい。なお、m=6とすると、A=t 。(w)・t。(w)となる。

100841

[* 10]

$$T(\omega)e^{i\phi(\omega)} = \exp\left[i\{n_{\alpha}(\omega) + in_{i}(\omega) - 1\}\frac{\omega}{c}d\right] \times |A| \cdot \exp(i \arg A)$$

€ 83 }

【0065】微10の両辺の対微をとると、次の数11 3148 8 M &..

[0066] [#11]

 $\ln T(\omega) + i\phi(\omega) = i \{n_{\lambda}(\omega) + in_{\lambda}(\omega) - 1\} \frac{\omega}{\omega} d + \ln A + i \operatorname{srg} A$

【0067】数11の裏部及び運動について、それぞれ 数12及び数13の関係が成立する。

[0088]

$$\ln T(\omega) = -n_1(\omega) \frac{\omega}{c} d + \ln |A|$$

100691

[#x:0]

$$\phi(\omega) = \left(n_s(\omega) - 1\right) \frac{\omega}{c} d + \operatorname{arg} A$$

【0070】n。(ω)は数13から次の数14で表さ れ、B: $\{\omega\}$ は数12から次の数15で表される。

[0071]

[数14]

$$n_{\mu}(\omega) = \frac{c}{d\omega} \{ \phi(\omega) - \arg A \} + 1$$

100721

[数15]

$$n_j(\omega) = \frac{c}{d\omega} \ln \frac{|\Delta|}{T(\omega)}$$

【0073】数14及び数15において、振幅透過率で (ω) 及び位揮差φ (ω) は、前述したように瀕定額か ち家まる銀であるが、Aがn。(ω)及びn; (ω)に **徽存している(数9、数3、数5~数7)ため。数14** 及び数15をそのまま解くことは非常に困難である。

【0074】本発病者は、Aを数9のように置いて数1 のような逐次近似を行えば、前述した論文開示されてい る糊定方法と異なり評価関数を用いることなく、極めて 簡単な計算によって、計算量を低減しかつ安定して特度 食く複素磨折率 (n. (ω) 及びn. (ω)) を求める ことを発信した。

[0075] すなわち、まず、n。(w) 及びn 、(w)の適当な初期額(例えば、被測定物20の複素 選折率のおおよその値は通常既知であるので、この値を 初期値とすればよい。)を近似解として与える。その近 修解を数9に代入してA(すなわち、 1 A 1 及び×××× 30 計劃し(ステップS3)、計劃時系列数形E。。。(t)

A)を影算する。Aの舒翼の際には、数3、数5~数7 を用いる。計算したAを、与えた近似解により定まる既 知数として取り扱って、数14及び数15に代入して、 ns (ω) 及びns (ω) の値を計算する。これにより 門線の手鞭を B。 (w) 及びn; (w) の線が収集する まで繰り返すことによって、複業器折率N(w)=ne (ω) キモれ、(ω) を求めることができる。

20 【0076】このように、逐次近毎において、複楽部所 率の近級解を与えて複響維折率の新たな近級解を得るに 際し、みを、与えた近似解にて定まる既知数として数り 扱うことにより、新たな近似解を得る。つまり、m= 0 の場合(すなわち、多葉反射を無視する場合)は、光が 被御定物20の周囲の媒質から被源定物20へ入射する ときの透過率は、及び光が複測定物に自から腐糞へ射出 するときの透過率も。を、年えた近似解にて定まる股知 数として取り扱うことにより、新たな近線解を得る。ま た。mと1の場合(すなわち、多葉反射を考慮する場 30 合)は、光が被測定物20の周囲の展覧から被測定物2 日へ入射するときの透漏率も、、光が被測定物20から 媒質へ付出するときの透過率 to 、並びに、多重反射に 基づく項(数9中のΣの項)を、与えた近望解にて定ま る既知数として取り扱うことにより、新たな近似解を得

【0077】再び図1を参照すると、納御・演算処理部 23は、被測定物20の各測定部位について、輸送した 演算により養素配折率を求める。顕像処理部24は、無 御・演纂処理部23により得られた被測定物20の複纂 ○から数14及び数15を導くことによって初めて、次 40 照折率の分布を示す顕像データを生成し、その顕像をご RT等の表示部25に表示させる。

> 【0078】次に、本実施の形態おける制御・演算処理 部23の動作の一例について、図3を参照して報酬す る。創御・演算処理部23は、動作を開始すると、基準 特系列波形 E (1) を計測し (ステップ S 1)、 数 準約系列成形 E,...(t) をフーリエ変機して振傷 [8] ... (ω) 「及び位相 θ,... (ω) 全車める (ステップS 2)。次いで、制御・演算処理部23は、被御定約20 の各関定部位について、計解時系列被形 E... (ま)を

をフーリエ変換して振幅 | E, ... (ω) | 及び位相 θ..., (w) を求め (ステップS4)、振編選過率T(w) 及 び位物差の(ω)を算出する(ステップS6)。

【0079】その後、制御・演纂処理部23は、物測定 物20の各額定額位について、後途するステップ86~ S10の処理を行う。すなわち、ある樹庭郵位につい。 て、初期の近似鏡 ps. (ω) . pr. (ω) を設定し(ス テップSも)、現在設定されている近銀線 n。(ω)/ n: (w) に従って崩滅した方法でみを計算 (ステップ) S7) する。然いで、制御・微算処理部23は、ステッ 10 【数16】 ブ57で養新に計算された人。並びに、当該衡定部位に ついてステップS5で繁出された菱鑾透過率で(ω)及 び位相差々(50)を、数14及び数15に代入して、新 たな近似鮮れ。(ω), n; (ω)を算出する (ステッ プS8)。然は、銅鐸・演纂処理部23は、ステップS 8で最新に得られた近似解nx (ω), n; (ω)が収 **変したが否かを判定する(ステップS9)。この判定** は、例えば、ステップも含で最新に得られた近似解れ。 (w), a, (w) と期間得られた近照解n。(w), n、(w)との差(絶対値)が所定値以下であるが姿か 20 【0089】関4において、関1中の要義と第一又は対 によって、行うことができる。

【0080】ステップ89で収率していないと制定され ると、ステップS8で最新に得られた近似解れ

s (ω), n: (ω) を新たな近似線として設定し(ス テップS30)、ステップS7へ覆る。

【0081】一方、ステップ89で収棄したと物定され ると、制御・演算処理部33は、当該測定部位について の演算を終了し、幾りの測定部位についてステップS6 ~ 510を繰り返し、全ての搬定部位について、ステッ の収束した近似解 s_n (ω), n_1 (ω) (すなわち、 当該謝定部位の複奏抵折率) を顕像処理部に24に供給 して、饗業銀折率の分布を示す顕像を表示部25に表示 させ(ステップS13)、総作を終了する。

【0082】なお、ステップS1、S2は、絵画定物2 りの機業競折率創定の度に行う必要はなく、適宜の額度 で行ってもよいし、例えば、製品出荷時などに最初に1 囲行うのみでもよい。

【0083】本実施の影飾によれば、紡迹した鰺文に開 く、計算量を低減しかつ安定して精度良く質素用折率又 は複素糖業率を概定することができる。

【0084】ところで、本実施の形態では、基準時系列 放形目(+; (+)の計測の際に、前紀光路上に被測定物。 20も他の飼料も配置しなかった。しかし、被額定物2 りの代わりに、既知の複奪服折率及び既知の厚みを持つ。 試料を、前記光路上に影響した状態において、計楽した。 時系列級形E(t)を、基準特系列級形E,..(t)と シア海のでもより。

【9085】また、多くの場合透磁率は1とみなせるた 50 €,,,'(ω)を得る。また、針瀬時素列液形E,,,'

が、後業期折率N(a)と複塞誘戦率と(a)との間に は、次の数16の関係がある。したがって、前述した方 法によって求めた譲騰器哲率N(ω)から、数16に徒 って、養素誘電率: (ω) を求めることができることは 明らかである。また、数16を数3~数15に代入して おけば、複素展析率N(w)を求めることなく、複素期 - 折率日 (ω) の場合と同様に、複楽誘数率。 (ω) を火 めることも可能である。

[0086]

$$s(\omega) = N(\omega)^2$$

【0087】 [第2の実施の形態]

【0088】闘4は、本発期の第2の実施の形態による イメージ化装置を模式的に示す機路構成器である。図 5 は、本実施の形態における被衝定物20の稠定部位付近 の様子を模式的に示す個である。個6は、本実施の影像 によるイメージ化装器の結構・液算処理部23の操作を 示す機略フローチャートである。

応する要素には同一符号を付し、その整徴する疑明は客 終する。

【0090】本実施の形態によるイメージ化製罐が納設 第1の実施の形態と異なる所は、前配第1の実施の形態 では、被例定物20の潜過光が検出器11で検出される のに対し、本実施の影響では、被謝定物20の反射光が 検出器11で検出されるように構成されている点と、部 海・液算処理部23の動作である。

【0091】前記第1の実施の形態では、接溯定物20 プ39で収束したと判定されると、各測定路位について「30」の各機定部位について、液過光に関する計劃跨系列放形 E.,、(t)を取得していたのに対し、本実施の形態で は、囲機の手法により、被測定物20の各測定無位につ いて。反射光に関する計衡時系列波形区、、、'(主)を 整備する。

> 【0092】ここで、本実施の形態で採用されている。 計劃時系列波形里...。(ま)に基づいて被源定物20 の複素組新率以(ω)を求める手法について、鋭明す

【0993】発生器7と検出器11との間の光路上に、 示されている顔定方法と異なり評価関数を用いることな 40 被測定物20に代えて、疑知の複楽照析率及び既知の漢 みを持つ試料(反射率が採ば100%の試料が昇まし い。) を配置した状態で、計画時期列表形形。。, *

> (主)の場合と開機に、反射光に関するデラヘルクバル ス光の電場強度の時系列放形を(も)を、予め計算して おく。この特差列級形を(も)を基準特差列級形 E...(1) と呼ぶ。

【0094】基準時系列波形E, , , '(t) について。 「嫉紀数1で定義されるようなフーラエ変換を実行して」 参照用(基準用)の数幅 | B,...* (ω) | と位相

(モ) について、鶏配数1で定義されるようなブーリエ 変換を塞行して、振幅|Ex...'(ω)||と位相 e....' (6) を得る。

【0095】さらに、次の数17に従って、被測定物2 Oの複楽振幅反射率:(m)を求める。すなわち、振幅 | E...* (m) | と繊羅 | E...* (m) | と比である

振幅反射率収(n)を得るとともに、位相(e)。。* (ω) と位権 Ø..., '(ω) との位相差φ'(ω) を得

[0096] 【数17】

$$\begin{split} I(\omega) &= \frac{E_{\text{sun}}'(\omega)}{E_{\text{ref}}'(\omega)} = \frac{|E_{\text{sun}}'(\omega)|}{|E_{\text{ref}}'(\omega)|} \exp[i\{\theta_{\text{sun}}'(\omega) - \theta_{\text{ref}}'(\omega)\}] \\ &= R(\omega) e^{i\phi(\omega)} \end{split}$$

【0097】一方、物質(被測定物20)の物業振幅反 射率 r (ω) は、物質の複素磁折率性 (ω) で表すこと 25 8776 B

【0098】被瀕定物20で反射するテラベルツバルス 光には、関5(き)に示すように被測定物20の入射器 (輸出部11個の面)でのみ反射する先(内部で1個も 反射せずに、多重反射でない反射光)、第5(も)に示 すように被測定物20の検出部11と反対側の帯で1曲 い反射光)。図5(e)に示すように被衝定物20の内 部で3回反射した光(1回多重反射した光)。図5

(d) に等すように被測定物20の内部で (21-1) 田反射した先((1-1) 田多鑑反射した光)が含まれ る。ここで便宜上、図5(b)に示した光をの四多葉反 新した光、図5 (a) に歩した光を一1回多葉度射した 光と呼ぶことにすると、1はり以上の整数である。な お、図るにおいて、反射回数は、被測定物20の内部で の既射回数を示している。

【0099】(m'-1) 簡までの多重反射(値し。 m'>0)を考慮すると、複素振幅反射率で(ω)は、

ッを光の角筒複数、4を被糊定物20の準さ、cを光速 として、次の数18で要される。ただし、数18におい て、Bは次の数19で示すように置いた。なお、数18 において、顔影第1の実施の形態の場合と開機に、光が 探賞から物質に入射するときの複素液過率及び複素反射 率をそれぞれぇ。(ω)、 ε、(ω)とし、物質から縲 質へ射出するときの複繁透過率及び複繁反射率をそれぞ れ tr (ω), ra (ω)とし、被測定物20が参数中 のみ反射する光(内部で1回反射するが、多重反射でな 20 又は真空中にあるものとして、被測定物20の両側の媒 質の層折率も、は1とした。もっとも、それ以外の場合 でも囲機であり、入射側と射出側の螺簧が周一である必 要もない。また、多くの分光器と問機は、本実施の形態 では、新記試料としてミラーを用い、参議用の優易とし て当該ミラーにより反射された光のスペクトルを描い。 その信号と被測定物20により反射されたスペクトルと の比を振幅反射率としている。そのため、数18では、 光がミラーで接触される線の位権反転を考慮して全体が 一工修されている。

> 30 [0100] 18:181

$$r(\omega) = -\left(r_{i}(\omega) + t_{i}(\omega) \cdot r_{i}(\omega) \cdot t_{i}(\omega) \cdot \exp\left(\left\{2N(\omega) \cdot \frac{\omega}{c}d\right\}\right)\right]$$

$$\times \sum_{i=1}^{n} \left(r_{i}(\omega)\right)^{2i} \exp\left(i\left\{2l \cdot N(\omega) \cdot \frac{\omega}{c}d\right\}\right)\right]$$

$$= -r_{i}(\omega) + \exp\left(i\left\{2N(\omega) \cdot \frac{\omega}{c}d\right\}\right) \times B$$

$$= -t_{i}(\omega) \cdot r_{i}(\omega) \cdot t_{i}(\omega)$$

$$\times \sum_{i=1}^{n} \left\{r_{i}(\omega)\right\}^{2i} \exp\left(i\left\{2l \cdot N(\omega) \cdot \frac{\omega}{c}d\right\}\right)$$

$$= \left|B\right| \cdot \exp\left(i \operatorname{arg} B\right)$$

【0102】数18に数17を代入して整理すると、次 の数20が得られる。数20は、振幅反射率R(ω)及 び位相差ま'(ω)と饕餮羅折率以(ω) = h。(ω) 59 すると被郷定物20の後出第11個の誰で1曲のみ度新

+in, (a) との関係を示す式であり。m'=0又は - まとすると多葉反射を無視したものとなり、血*=1と

した光及び被測定物20の検出部11と反対側の器で1 田のみ反射した光を反映したものとなり。 60 2 2 2 5 す ると多量反射を反映したものとなる。複業照折率の衝走 精度をより高めるためには m' る 2 とすることが好まし いが、本実施の形態では、多葉反射を無視しても考慮し

てもよく。60 21の任業の整象に設定しておけばよ い。なお、m/ =0とすると、8=0になるものとす

 $R(\varpi)e^{i\phi(\varpi)}+r_i(\varpi)=R'(\varpi)e^{i\phi'(\varpi)}$

[0103]

130201

$$B(\omega)e^{i\phi(\omega)} + r_i(\omega) = \exp\left[2i\left(n_{\mu}(\omega) + in_{\mu}(\omega)\right)\frac{\omega}{c}d\right] \times |B| \cdot \exp(i\arg B)$$

【0104】数20の左辺を次の数21で用すように微 き、これを数20に代入すると、次の数22が得られ、 Š.,

[0106] [X22]

101051

(#21)

$$R'(w)e^{i\theta'(w)} = \exp\left[2i[n_n(w) + in_r(w)]\frac{\omega}{c}d\right] \times |B| \cdot \exp(i\arg B)$$

[0107] 数22の両辺の対数をとると、次の数23 が得られる。

[0108] 18231

$$\ln R(\omega) + i\phi''(\omega) = 2i \left\{ n_R(\omega) + i n_I(\omega) \right\} \frac{\omega}{c} d + \ln |B| + i \arg B$$

【0109】数23の両辺の微部及び実施の頻停から、 $\mathbf{n}_{\mathbf{x}}$ (ω) は次の数とすで表され、 $\mathbf{n}_{\mathbf{x}}$ (ω) は次の数 25で巻きれる。

[0110]

[\$024]

$$n_{\rm R}(\omega) = \frac{c}{2d\omega} \left\langle \phi^*(\omega) - \arg B \right\rangle$$

[0111]

[#25]

$$n_{I}(\varpi) = \frac{c}{2d\varpi} \ln \frac{|B|}{R'(\varpi)}.$$

[0112] 数24及び数25において、振幅反射率R (ω) 及び位程差φ"(ω)は、前途したように測定策 から求まる値であるが、おがゎ。 (ω) 及びゎ。 (ω) に放存し(数19、数3、数3~数7)、R′(ω)及 び位相差も"(ω)がつ。(ω)及びn, (ω)に依存 している(数21/数4、数7)ので、数24及び数2 5をそのまま解くことは非常に困難である。

【0113】本発卵者は、Bを数19のように置くとと もに数21のように置いて数20から数24及び数25 を導くことによって初めて、次のような逐次近似を行え ば、極めて簡単な計算によって、比較的少ない計算量で 安定して精度及く複素器折率 (n。 (m) 及びn

: (ω))を求めることを発出した。

【0114】すなわち、まず、n。(ω) 及びn

、(ω)の適当な初期値(例えば、被測定物20の後期 組折率のおおよその値は通常既知であるので、この値を

銀解を数19に代入してB(すなわち、1B1及びar x B)を計算する。目の計算の際には、数3、数5~数 7を用いる。また、新配近即解を数21に代入して振幅 反射率R1 (ω) 及び位摺路φ1 (ω) を針翼する。こ の針響の際には、数4及び数7を用いる。このようにも て計算したB、振幅反射率B1 (ω)及び位相差。" (ω)を、与えた近似解により定まる既知数として取り 扱って、数24及び数25に代入して、n。(a)及び 30 n; (ω)の値を計算する。これにより得たn。(ω) 及びn: (ω)を新たな近似解として、間様の手履をn 。 (ω) 及びn。 (ω) の嬢が収束するまで繰り返すこ とによって、複響服務率N (ω) = n。 (ω) + in: (ω)を求めることができる。

【0115】このように、逐次近毎において、複業服折 平の近似解を与えて複素組折率の新たな近似解を得るに 際し、B、振幅反射率R'(ω)及び位相差φ"(ω) を、与えた近似解にて定まる既知数として取り扱うこと により、新たな近似解を得る。つまり、m'=1の場合 40 (すなわち、多葉反射を無視するとともに、被網度物2 もの入射圏(検出部11個の圏)でのみ反射する光を反 映する場合)は、光が被測定物20の周囲の媒質から被 謝定物20へ入射するときの透過率 t, 及び反射率 すい、並びは、光が被跡定輸20から爆翼へ射出すると きの透過率も。及び反射率と。を、与えた近似解にて定 まる既知数として取り扱うことにより、新たな近似解を 得る。また、出る2の場合(すなわち、多葉反射を考慮 する場合)は、光が被測定物20の周囲の爆簧から物類 定物でのへ入射するときの透過率で、及び反射率で、。 初期確とすればよい。)を近毎解として与える。その近 50 光が披樹定物20から媒質へ射出するときの透過率も

及び反射率より、並びに、多難反射に基づく項(数19 中の間の項)を、与えた近線解にて定まる既知数として 取り扱うことにより、新たな近級解を得る。

【0116】 次に、本実施の形態おける制御・演纂処理 23の動作の一例について、図6を参照して説明す る。制御・護算処理部23は、動作を開始すると、基準 **時累得該形臣...'(1)を計測し(ステップS2** 1) 、基準時系列数形 E,,, '(t) をフーリエ変換し て振幅 | E, ... '(ω) | 及び位相 θ..., '(ω) を求め る(ステップ822)。次いで、銅獅・演纂処理第23 は、被測定物20の各測定部位について、計測時差列波 形E...。(ま)を計器し (ステップ523) 、計劃時 | 英列級形 E..., '(t) をフーリエ変換して接觸 | | Ε... (ω) | 及び位相ψ... (ω) を求め (ステッ プ524)、振幅反射率E(ω)及び位相差φ'(ω) を舞出する (ステップS25)。

【0117】その後、制御・微算処理部23は、被測定 物20の各額定部位について、後述するステップ828 ~531の処理を行う。すなわち、ある脚定部位につい て、初期の近似策na (ω) 。 s (ω) を設定し (ス 20 テップS28)、現在設定されている近似値も

(w), s; (w)に従って前述した方法でBを計算 《ステップS27》するとともにR'(ω)及びゅ。

(w)を計算する(グテップS28)、なお、ステップ S28では、当該拠定部位についてステップS2Sで無 出された振幅反射率収(ω)及び位相差φ'(ω)を用 115.

【0118】次いで、朝御・演算処理部23は、ステッ プS27で最新に計算された8、並びに、ステップS2 24及び数28に代入して、新たな近假解n。(ω)。 n, (w)を舞出する(ステップ529)。次に、網鎖 、演算処理部23は、ステップS29で最新に得られた |遊艇解8x (ω) 、n: (ω) が収棄したか否かを報定 する(ステップ830)。この稠定は、何えば、ステッ プS 2 9 で登新に得られた近似解n。 (ω) 。n -

(ω) と前回得られた近似解vs (ω), n; (ω) との差(絶対線)が所定線以下であるか否かによって、 行うことができる。

れると、ステップも29で最新に得られた近似解れ 。 (ω) 、n: (ω) を新たな近似盤として数能し (ス

テップS31}、ステップS27へ戻る。

{0120}一方、ステップS30で収壊したと物定さ れると、解除・高等処理罪23は、当時測定部位につい ての演纂を終了し、残りの衝電部位についてステップS 28~831を繰り返し、全ての測定部位について、ス テップ330で収算したと判定されると、各額定部位に ついての収棄した近線解n。(w)。n。(w)(すな わち、音絃測定部位の饕餮照折率) を顕像処理部に24 50 ある。

に供給して、複数磁折率の分布を示す函像を表示器と5 に表示させ(ステップもヨコ)、動作を終了する。

【0121】なお、ステップS21、S22は、被謝定 物20の複審照折率衡定の変に行う必要はなく、適宜の 機度で行ってもよいし、例えば、製品出筒締などに最初 に1個行うのみでもよい。

【0122】本実施の形態によれば、比較的少ない計算 **激で安定して精度良く複素組折率又は複素熱意率を測定** することができる。

【0123】なお、前述した方法によって求めた複選組 折率N(ω)から、約配数16に従って、複楽誘電率と (ω)を密めることができることは明らかである。ま た、数16を数3~数7、数18~数25に代入してお けば、篠寨陽折率N(ω)を求めることなく、篠寨脱折 率当(ω)の場合と開機に、複素誘電率 ε (ω)を求め ることも可能である。

【0124】以上、本発明の各実施の形態について説明 したが、本発野はこれらの実施の形態に鍛定されるもの ではなおり、

- 【0 1 2 5】例えば、前配各実施の形態では、被瀕定物 200各選定部位の複業服折率が創定されて、その分布 がイメージ化されていたが、本務期では、被測定物20 のある制定部位のみの複楽部折率又は複楽誘撃等を測定 するだけであってもよい。さらに、イメージが不要で、 被測定物で10のある範囲の平均の複素原折率又は複葉額 職率を測定したい場合には、前途のように、テラヘルツ パルス先し4が緩瀕変物20に対して平行先として入射 するような無男光学業を利用してもよい。

【0126】また、前配各実施の形態では、復業展析率 8で最新に對象された以*(ω)及びφ*(ω)を、数 30 を最終的な測定結果としていたが、本発明は、他の物性 徹を所認の最終的な測定結果とする場合において、当該 物性値を得るための途中段階として貧騰期折率又は覆蓋 誘電率を得る場合にも、適用することができる。例え は、被測定物20が半導体などである場合のように薄素 脳折率の周波数依存性が理論的に求まる場合には、爰小 三乗法によりパラメータを最適化すれば、被制定物20 に関する他の複雑(例えば、半郷体のキャリア密度や移 動機など)を得ることが可能である。半導体のキャリア 密度と移動度を求めたい場合であれば、単一周複数の複 【0119】ステップS30で収率していないと判定さ 40 業務折率から適ちに求めることができるが、より高い精 度でこれらの観を束めたければ、囲波数依存性を利用し て幾小二乗法により籌出することが有効である。問機の 計算は、透過又は反射スペクトルの測定値と理論値との 養を暴小にするようにパラメータ最適化することによっ。 ても可能であるが、これは比較的計算量が多い作業であ る。それよりも、本税朝を用いて測定結果から複業阻抗 率を算出し、その結果と理論式とを比較しながらパラメ 一夕最適化を行った方が計算量は軽減される。したがっ て、本発明はパラメータ最適化の前処理としても有効で

[0127]

【実施例】本発明者は、前述した第1の実施の形態で探 用されている郷定甲法に従って、被郷定物20をも塑の シリコンウエハとしてその複素阻抗率を束めた。

- 【0128】 図3中のステップ55で得た環接数0.6 TH: (~20cm⁻¹) における振幅階級率T(w) 及び位相差 ϕ (ω)は、それぞれて(ω)=0、 θ 1 0. 位相差々(ω) = 5. 78であった。この結果に基 づき、図3中のステップSBで収集したと判定され最終。 的に得られた簽簽器析率以(w)は、nx(w) = 3、 10 激を儀式的に示す機路構成器である。 4.4 及びn, (w) = 0.0027であった。この値は、シサコンウエハの複素服折率として知られている値 n_{\star} (a) = 3. 41 \times (b) = 0. 0024 (「基礎物性顕著) 工廠審集(共立出版。(197 2) 。p. 254)) に極めて近い。このように、本発 朝が後避屈折率を求める際に有用であることが、実際に 繊維された。

[0129]

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、 選奨率の疲惫核存性を求めるなどの環難な手類が不要と 20 11 サラヘルン光線出籍 なり、しかも、計算量を低減しかつ安定して精度量く複り 素羅哲學又は複素誘電學を測定することができる測定方。 法及び装置、並びに、これを用いた被測定物のイメージ。 化力振及び装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態によるイメージ化装 | 微を模式的に示す機路構成図である。

3.4

【図2】本発明の第1の実施の影響における被測定物の 一額定即位付近の機子を模式的に示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態によるイメージ化器 置の制御・演算処理部の動作を示す機路フローチャート 738 8.

- 【図4】本発明の第2の実施の影態によるイメージ化装

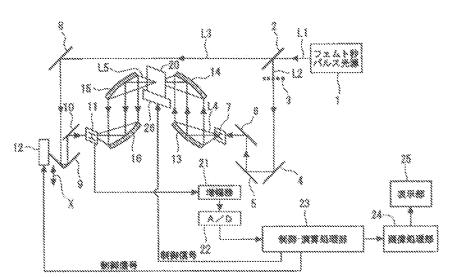
【図5】本発明の第2の実施の形態における被割ま物の 激定組位付近の様子を構成的に手す個である。

【図6】本発明の第2の実施の形態によるイメージ化装 置の制御・演算処理部の動作を示す機略フローチャート

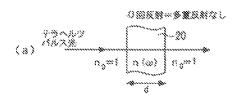
- (初号の説明)

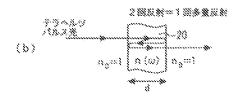
- 1 フェムト砂バルス光纜
- 7 アラヘルン光発生器
- 9 70788688
- 2.0 被测定物
- 23 解脚、演算処理部
- 2 4 顕微的理解
- 2.5 衰形器

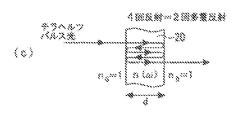
18811

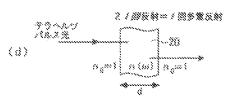




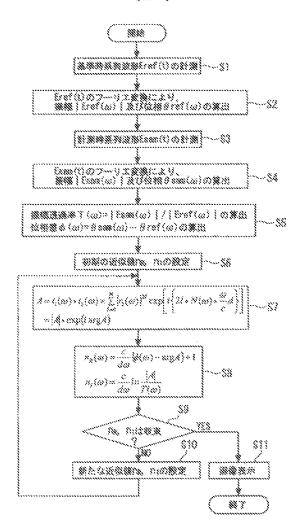




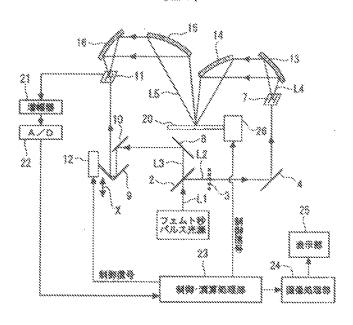




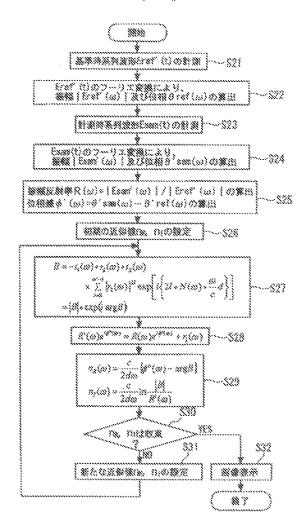
[883]







[88]



[885]

